

УДК 687.174

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ЖИЛЕТА С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩИМ МАТЕРИАЛОМ**

**EXPERIMENTAL STUDY  
OF A VEST WITH HEAT-ACCUMULATED FLUIDING MATERIAL**

*Д.Н. СОРОКИНА*

*D.N. SOROKINA*

(Донской государственный технический университет)

(Don State Technical University)

E-mail: naukauni@mail.ru

*Для обеспечения комфортного состояния тела человека во время выполнения производственной деятельности разработан жилет с теплоаккумулирующим материалом (ТАМ). Теплоаккумулирующий материал поглощает избыток тепла от тела человека во время активной физической деятельности и отдает тепло обратно в состоянии покоя, тем самым обеспечивается комфортное самочувствие человека. Эффективность использования жилета с теплоаккумулирующим материалом доказана результатами экспериментальных исследований. При использовании жилета с теплоаккумулирующим материалом общее время комфортного состояния человека при переменной физической деятельности в среднем продлевается на 95 минут в зависимости от условий среды.*

*To ensure a comfortable state of the human body during production activities, a vest with a heat-accumulating material (TAM) has been developed. Heat storage material absorbs excess heat from the human body during vigorous physical activity and gives off heat back at rest, thereby ensuring a comfortable well-being of a person. The effectiveness of using a vest with heat-accumulating material has been proven by the results of experimental studies. When using a vest with a heat-accumulating material, the total time of a person's comfortable state with variable physical activity, on average, is extended by 95 minutes, depending on environmental conditions.*

**Ключевые слова:** защитная одежда, безопасность труда, здоровье человека, теплоаккумулирующие материалы.

**Keywords:** protective clothing, safety of work, human health, heat storage materials.

В последние десятилетия идет активное освоение и развитие топливно-энергетических и природных ресурсов северных территорий и Арктики. Данные районы относятся к экстремальным территориям, на которых круглогодично природные условия резко осложняют производственную деятельность человека [1]. Зачастую работники вынуждены длительно находиться на открытой местности при низких температурах окружающей среды и при этом выполнять производственные функции. Использование только теплозащитной одежды не всегда позволяет поддерживать гомеостаз человека в комфортном состоянии. Возникает потребность в дополнительных источниках обогрева.

В процессе трудовой деятельности человека его физическая активность может изменяться и соответственно изменяется уровень теплопродукции (в покое  $58 \text{ Вт/м}^2$ , при движении до  $440 \text{ Вт/м}^2$ ). Средневзвешенная температура кожи в состоянии покоя составляет  $23^\circ\text{C}$  при физической нагрузке может достигать  $37^\circ\text{C}$ . При перегреве происходит активное потоотделение, которое может приводить к интенсивному охлаждению в состоянии покоя [2, 3]. Таким образом, в одной и той же одежде можно как замерзнуть, при длительном пребывании на холоде, так и перегреться за счет избытка тепла во время физической активности. Возникла необходимость разработать способ поддержания комфортного состояния тела человека с учетом интенсивности его физической активности.

Опираясь на физиологические особенности терморегуляции и поддержания теплового баланса человека, был разработан жилет с теплоаккумулирующим материалом (ТАМ), позволяющий в течение определенного времени сохранять комфортное состояние человека в условиях переменной активности. В жилете имеются внутренние карманы для размещения в них съемных элементов с теплоаккумулирующим материалом с температурой фазового перехода в термофизиологическом диапазоне температур тела человека ( $27...35^\circ\text{C}$ ) [4].

Для исследования эффективности жилета были проведены экспериментальные

исследования на открытой местности при различных климатических условиях. При определении теплоизоляции комплекта теплозащитной одежды основными документами были приняты: ГОСТ Р 12.4.185–99 "Средства индивидуальной защиты от пониженных температур. Методы определения теплоизоляции комплекта", МУК 4.3.1894–04 "Методы контроля. Физические факторы. Физиолого-гигиеническая оценка одежды для защиты работающих от холода", МР № 11-0/279–09 "Методические рекомендации по расчету теплоизоляции комплекта индивидуальных средств защиты работающих от охлаждения и времени допустимого пребывания на холоде" [5...7].

Опираясь на нормативные документы и учитывая опыт других исследователей, в качестве основных исследуемых параметров являлись температурные характеристики тела человека. Известно, что рецепторы кожи очень чувствительны к скачкам температуры. Во многих экспериментах и реальных ситуациях температура поверхности кожи является базовой [8...17].

Данные температуры снимались с помощью температурных датчиков на участках: грудь, живот, спина, поясница, лоб. Погрешность измерений  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Также велись наблюдения за потоотделением и теплоощущениями человека. Оценка теплоощущений проводилась следующим образом: 1 - "холодно", 2 - "прохладно", 3 - "слегка прохладно", 4 - "комфорт", 5 - "слегка тепло", 6 - "тепло", 7 - "жарко". Влажность кожи и одежды оценивалась по шкале от 1 до 6 соответственно: "очень сухая", "нормальная сухая", "грудь и спина немного влажные", "грудь и спина влажные", "влажное тело", "влажное тело, одежда прилипает к коже".

Моделировалась следующая ситуация: ходьба испытателя по наклонной местности (угол  $5^\circ$ ) со скоростью  $6,4 \text{ км/ч}$  (тепловой поток  $300 \text{ Вт/м}^2$ ), затем – состояние покоя (тепловой поток  $70 \text{ Вт/м}^2$ ). Задача натурных испытаний состояла в определении сохранения теплового комфорта тела человека с помощью теплоаккумулирующего материала в защитной одежде. В экс-

перименте принимал участие мужчина с физическими параметрами: масса  $m = 80$  кг, рост 176 см, возраст 27 лет [5]. Испытатель был одет в теплозащитную одежду (куртка и полукombineзон) с теплоизоляцией  $0,744 \text{ Вт} \cdot \text{°C}/\text{м}^2$ . Толщина пакета на участке туловища  $\delta = 0,04$  м. Пакет материалов комплекта составляет: ткань верха с поверхностной плотностью  $230 \text{ г}/\text{м}^2$  (80% хлопка, 20% полиэфир), подкладка с поверхностной плотностью  $210 \text{ г}/\text{м}^2$  (57% хлопок, 43% полиэстер), утепляющая прокладка – перо-пуховая смесь (80% пуха, 20% пера). В качестве теплоаккумулирующего материала использовался октадекан ( $\text{C}_{18}\text{H}_{38}$ ). Толщина элемента с теплоаккумулирующим материалом  $0,005$  м. Предварительно костюм и жилет с теплоаккумулирующим материалом выдержаны в свободном состоянии в течение 24 ч при температуре воздуха  $20 \pm 2 \text{°C}$  и его относительной влажности 30...60%. Эксперимент проводился при температурах воздуха:  $0 \pm 1 \text{°C}$ ,  $-10 \pm 1 \text{°C}$  и  $-20 \pm 1 \text{°C}$  и скорости движения ветра  $0,15 \text{ м}/\text{с}$  [18...26].

Проведение эксперимента осуществлялось по схеме [5]:

1) Человек одет в комплект "комнатной" одежды и находится 30 минут в помещении при температуре воздуха  $22 \pm 2 \text{°C}$  и движении воздуха не более  $0,1 \text{ м}/\text{с}$ .

2) Снимаются показатели начальной температуры тела у испытуемого.

3) На поверхности тела устанавливаются температурные датчики.

4) Испытатель надевает комплект одежды, который состоит из хлопчатобумажного белья, жилета с ТАМ, свитера, полукombineзона и куртки, головного убора, рукавиц, обуви.

5) Испытатель выходит на открытую местность и совершает действия в соответствии с моделируемой ситуацией.

6) С поверхности тела испытуемого снимаются данные температуры кожи и проводится опрос о теплоощущениях человека с периодичностью 2 мин. В случае жалоб испытуемого на охлаждение испытание прекращается.

7) Прекращение испытаний.

8) Оформление результатов испытания.

9) Проведение повторного эксперимента в той же последовательности после "отдыха" испытуемого в течение часа одетым в "комнатную" одежду в помещении с температурой воздуха  $22 \pm 2 \text{°C}$ .

Проведенные натурные испытания теплозащитной одежды с элементами с теплоаккумулирующим материалом показали, что при использовании жилета с элементами с теплоаккумулирующим материалом общее время комфортного состояния человека при переменной физической деятельности в среднем продлевается на 95 мин в зависимости от условий среды: температуры воздуха и скорости ветра. Во время физической нагрузки испытуемый оценивает свои теплоощущения как "тепло" и "жарко". После прекращения физической активности до состояния "стоя" в течение всего периода до окончания эксперимента испытуемый оценивает свои теплоощущения как "слегка тепло" и "комфорт". Влажность кожи оценена испытуемым как "грудь и спина влажные". Также результатами экспериментальных исследований доказана эффективность длительного использования (например, в течение рабочей смены) жилета с теплоаккумулирующим материалом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлева Н.Л. Разработка метода проектирования бельевого костюма специального назначения для создания комфортного пододежного микроклимата: Дис...канд. техн. наук. – М., 2015.

2. Джаннаинова В.М. и др. Проектирование рациональной конструкции спецодежды, предназначенной для жарких климатических условий // *Science and world*. – 2013. С. 48.

3. Elbel S. et al. Development of Microclimate Cooling Systems for Increased Thermal Comfort of Individuals. – 2012.

4. Lopez R.M. et al. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes // *Journal of athletic training*. – V. 43, №1, 2008. P. 55.

5. Wittmersl L., Hodgdon J. Use of encapsulated phase change material (epcm) as a cooling agent in microclimate cooling garments // *Environmental Ergonomics VIII* – San Diego, USA, 1998. P. 231...235.

6. Mokhtari Yazdi M., Sheikhzadeh M. Personal cooling garments: a review // *The Journal of The Textile Institute*. –V. 105, №. 12, 2014. P. 1231...1250.

7. Рус С.Ф. Ventilated shirt : пат. 5105478 США. – 1992.

8. Kuchofuku: [Электронный ресурс] / kuchofuku-products. - Режим доступа: <http://www.kuchofuku-products.com> (Дата обращения 25.10.2016)

9. Mawashi: [Электронный ресурс] / mawashi. - Режим доступа: <http://www.mawashi.net> (Дата обращения 25.10.2016)

10. Flouris A.D., Cheung S.S. Design and control optimization of microclimate liquid cooling systems underneath protective clothing // *Annals of biomedical engineering*. – V.34, №. 3, 2006. P. 359...372.

11. Veskimo: [Электронный ресурс] / veskimo. - Режим доступа: <http://www.veskimo.com> (Дата обращения 25.10.2016)

12. Sinosail: [Электронный ресурс] / sinosail. - Режим доступа: <http://sinosail.en.ec21.com> (Дата обращения 25.10.2016)

13. Derion T., Pozos R.S. A review of microclimate cooling systems in the chemical, biological, radiological environment. – Naval health research center San Diego CA, 1993. – №. NHRC-93-23.

14. Coolbit: [Электронный ресурс] / coolbit. - Режим доступа: <http://coolbit.com.ua> (Дата обращения 25.10.2016)

15. Arcticheat: [Электронный ресурс] / arcticheatusa. - Режим доступа: <http://www.arcticheatusa.com> (Дата обращения 25.10.2016)

16. Revit: [Электронный ресурс] / revit. - Режим доступа: <http://www.revit.nl> (Дата обращения 25.10.2016)

17. Kenny G.P. et al. Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress // *Journal of occupational and environmental hygiene*. – V.8, № 8, 2011. P. 484...491.

18. Sports: [Электронный ресурс] / sports. - Режим доступа: <http://www.sports.ru> (Дата обращения 25.10.2016)

19. Stacoolvest: [Электронный ресурс] / stacoolvest. Режим доступа: <http://www.stacoolvest.com> (Дата обращения 25.10.2016)

20. Smolander J. et al. Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat // *International journal of occupational safety and ergonomics*. – V.10, №2, 2004. P. 111...117.

21. Dees: [Электронный ресурс] / dees. - Режим доступа: <http://www.dees.ru> (Дата обращения 25.10.2016)

22. Colvin D.P., Bryant Y.G. Protective clothing containing encapsulated phase change materials // *ASME Heat Transfer Div Publ HTD*. – V.362, 1998. P.123...132.

23. Gao C., Kuklane K., Holmér I. Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment // *European journal of applied physiology*. – V.111, № 6, 2011. P. 1207...1216.

24. Лебедева Е.О., Сорокина Д.Н., Смирнова Н.В. Выбор теплоаккумулирующего материала для применения в теплозащитной одежде // *Текстильная промышленность*. – 2011, №7. С. 37...39.

25. Techniche: [Электронный ресурс] / techniche. - Режим доступа: <http://www.techniche-intl.com> (Дата обращения 25.10.2016)

26. Сорокина Д.Н. Разработка и исследование специальной теплозащитной одежды с теплоаккумулирующим материалом: Дис...канд. техн. наук. – Шахты, 2012.

## REFERENCES

1. Zhuravleva N.L. Razrabotka metoda proektirovaniya bel'evogo kostyuma spetsial'nogo naznacheniya dlya sozdaniya komfortnogo pododezhnogo mikroklimata: Dis...kand. tekhn. nauk. – M., 2015.

2. Dzhanpaizova V.M. i dr. Proektirovanie ratsional'noy konstruksii spetsodezhdy, prednaznachennoy dlya zharkikh klimaticheskikh usloviy // *Science and world*. – 2013. S. 48.

3. Elbel S. et al. Development of Microclimate Cooling Systems for Increased Thermal Comfort of Individuals. – 2012.

4. Lopez R.M. et al. Thermoregulatory influence of a cooling vest on hyperthermic athletes // *Journal of athletic training*. – V. 43, №1, 2008. P. 55.

5. Wittmersl L., Hodgdon J. Use of encapsulated phase change material (epcm) as a cooling agent in microclimate cooling garments // *Environmental Ergonomics VIII – San Diego, USA, 1998*. P. 231...235.

6. Mokhtari Yazdi M., Sheikhzadeh M. Personal cooling garments: a review // *The Journal of The Textile Institute*. –V. 105, №. 12, 2014. P. 1231...1250.

7. Рyc C.F. Ventilated shirt : pat. 5105478 SShA. – 1992.

8. Kuchofuku: [Elektronnyy resurs] / kuchofu-kuchofuku-products. - Rezhim dostupa: <http://www.kuchofuku-products.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

9. Mawashi: [Elektronnyy resurs] / mawashi. - Rezhim dostupa: <http://www.mawashi.net> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

10. Flouris A.D., Cheung S.S. Design and control optimization of microclimate liquid cooling systems underneath protective clothing // *Annals of biomedical engineering*. – V.34, №. 3, 2006. P. 359...372.

11. Veskimo: [Elektronnyy resurs] / veskimo. - Rezhim dostupa: <http://www.veskimo.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

12. Sinosail: [Elektronnyy resurs] / sinosail. - Rezhim dostupa: <http://sinosail.en.ec21.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

13. Derion T., Pozos R.S. A review of microclimate cooling systems in the chemical, biological, radiological environment. – Naval health research center San Diego CA, 1993. – №. NHRC-93-23.

14. Coolbit: [Elektronnyy resurs] / coolbit. - Rezhim dostupa: <http://coolbit.com.ua> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

15. Arcticheat: [Elektronnyy resurs] / arcticheatusa. - Rezhim dostupa: <http://www.arcticheatusa.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

16. Revit: [Elektronnyy resurs] / revit. - Rezhim dostupa: <http://www.revit.nl> (Data obrashcheniya 25.10.2016)

17. Kenny G.P. et al. Ice cooling vest on tolerance for exercise under uncompensable heat stress // *Journal of occupational and environmental hygiene*. – V.8, № 8, 2011. P. 484...491.
18. Sports: [Elektronnyy resurs] / sports. - Rezhim dostupa: <http://www.sports.ru> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
19. Stacoolvest: [Elektronnyy resurs] / stacoolvest. Rezhim dostupa: <http://www.stacoolvest.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
20. Smolander J. et al. Effectiveness of a light-weight icevest for body cooling while wearing fire fighter's protective clothing in the heat // *International journal of occupational safety and ergonomics*. – V.10, №2, 2004. P. 111...117.
21. Dees: [Elektronnyy resurs] / dees. - Rezhim dostupa: <http://www.dees.ru> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
22. Colvin D.P., Bryant Y.G. Protective clothing containing encapsulated phase change materials // *ASME Heat Transfer Div Publ HTD*. – V.362, 1998. P.123...132.
23. Gao C., Kuklane K., Holmér I. Cooling vests with phase change materials: the effects of melting temperature on heat strain alleviation in an extremely hot environment // *European journal of applied physiology*. – V.111, № 6, 2011. P. 1207...1216.
24. Lebedeva E.O., Sorokina D.N., Smirnova N.V. Vybór teploakkumuliruyushchego materiala dlya primeneniya v teplozashchitnoy odezhde // *Tekstil'naya promyshlennost'*. – 2011, №7. S. 37...39.
25. Techniche: [Elektronnyy resurs] / techniche. - Rezhim dostupa: <http://www.techniche-intl.com> (Data obrashcheniya 25.10.2016)
26. Sorokina D.N. Razrabotka i issledovanie spetsial'noy teplozashchitnoy odezhdy s teploakkumuliruyushchim materialom: Dis...kand. tekhn. nauk. – Shakhty, 2012.

Рекомендована Научно-техническим советом.  
Поступила 29.05.18.

---